

## НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ РАЗВОДКИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ

*Для помехозащищенности комплементарно передаваемые сигналы должны быть хорошо сбалансированы и обладать одинаковым импедансом*

Дифференциальная передача подразумевает наличие двух комплементарных сигналов с равной амплитудой и фазовым сдвигом  $180^\circ$ . Один из сигналов называется позитивным (прямым, неинверсным), второй - негативным (инверсным). Дифференциальная передача широко используется в электронных схемах и существенна для увеличения скорости передачи данных. Высоко-скоростные тактовые сигналы компьютерных материнских плат и серверов передаются по дифференциальным линиям. Многочисленные устройства, такие как, принтеры, коммутаторы, маршрутизаторы и сигнал-процессоры используют технологию низкоуровневой дифференциальной передачи сигналов LVDS (*Low Voltage Differential Signaling*).

По сравнению с однопроводной для реализации дифференциальной передачи требуется большее количество передатчиков (драйверов, трансмиттеров) и приемников (ресиверов), а также удвоенное число выводов элементов и проводников. С другой стороны, использование дифференциальной передачи дает несколько привлекательных преимуществ:

- большая временная точность,
- большая возможная скорость передачи,
- меньшая восприимчивость к электромагнитным помехам,
- меньший шум, связанный с перекрестными помехами.

При разводке дифференциальных проводников важно, чтобы обе дифференциальные трассы обладали одним и тем же импедансом, были одинаковой длины, а расстояние между их краями было постоянным.

Используя пример, рассмотрим несколько важных концепций дифференциальной разводки. На рисунке 1 показана дифференциальная шина материнской платы, проложенная между выводами специализированной микросхемы (ASIC) и разъемом для подключения дочерней платы с микросхемами памяти. Проводник прямого сигнала выделен зеленым цветом, а инверсного - красным. Каждый проводник на своем протяжении имеет два переходных отверстия и серпантинный участок.

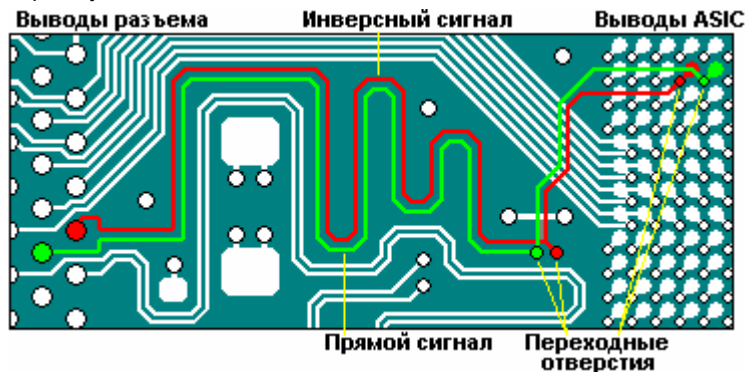


Рис. 1. Дифференциальная пара материнской платы

Дифференциальная разводка на этом рисунке выполнена с учетом нескольких правил:

- **выводы компонентов, использующихся для передачи или приема дифференциальных сигналов, располагаются близко друг от друга;**
- **на каждом, отдельно взятом слое, располагаются отрезки шин одинаковой длины, а расстояние между шинами сохраняется на разных слоях одинаковым;**
- **при смене слоя зазор между площадками переходных отверстий делается минимальным (не превышающим расстояния между шинами, если это выполнимо);**
- **серпантинные участки двух шин располагаются в одной области так, чтобы у позитивного и негативного сигналов были одинаковые задержки распространения на протяжении всей длины цепи.**

Скругление углов и одинаковая длина дифференциальных проводников требует особой внимательности.

Кроме проводников печатной платы, в корпусе интегральной схемы располагаются шины, соединяющие каждый вывод корпуса с выводом кристалла ИС.

Различная длина этих шин в некоторых случаях может вносить свои коррективы.

В качестве численного примера рассмотрим дифференциальные шины со следующими длинами сегментов:

**для прямого сигнала**

- длина сегмента от вывода разъема до первого переходного отверстия = 3022.93 мил (76,78 мм),
- длина сегмента между переходными отверстиями = 747.97 мил (19,0 мм),
- длина сегмента от второго переходного отверстия до вывода ИС = 27.8 мил (0,71 мм),
- общая длина цепи прямого сигнала = 3,798.70 мил (96,49 мм);

**для инверсного сигнала**

- длина сегмента от вывода разъема до первого переходного отверстия = 3025.50 мил (76,78 мм),
- длина сегмента между переходными отверстиями = 817.87 мил (19,0 мм),
- длина сегмента от второго переходного отверстия до вывода ИС = 27.8 мил (0,71 мм),
- общая длина цепи прямого сигнала = 3,871.17 мил (98,33 мм).

Таким образом, разница в длинах проводников печатной платы составляет 72.47 мил (1,84 мм).

Некоторую часть полученной разницы можно скомпенсировать, учитывая различную длину шин внутри корпуса ИС. При этом разница суммарных длин трасс становится в пределах специфицированного допуска.

Рисунок 2 показывает, что общая длина шины должна быть продумана с точки зрения уменьшения разницы в длинах дифференциальных проводников.



**Рис. 2.** Сумма (L0 + L1) должна равняться сумме (L2 + L3) в пределах допустимой погрешности

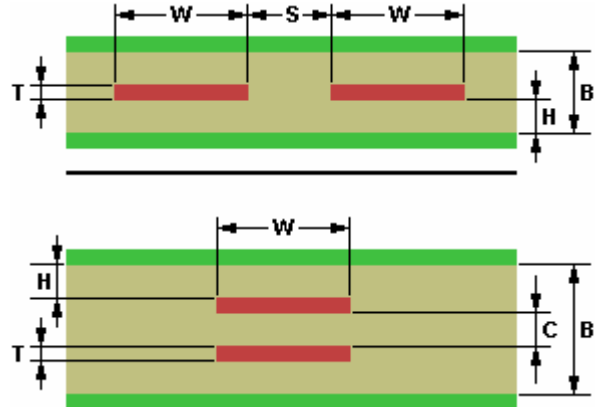
Повторяя снова, желательно сохранять постоянным расстояние между краями проводников на всем их протяжении. Исследования дифференциальной пары показывают, что поблизости от выводов разъема шины теряют параллельность друг относительно друга. Рисунок 3 иллюстрирует схему разводки с минимизацией этого недостатка при сохранении параллельности на большой длине (образующийся при этом острый угол проводника инверсного сигнала может приводить к потере его целостности с вытекающими отсюда последствиями - примечание переводчика). Такая схема может применяться в случаях, когда дифференциальные сигналы должны иметь сильную связь или при передаче высокоскоростных сигналов.



**Рис. 3.** Параллельная разводка проводников

Концепция дифференциальной разводки в этом случае предполагает компланарные пары (т.е. располагающиеся в одном слое), имеющие связь по краям проводников. Дифференциальные сигналы могут также разводиться и другим способом, при котором проводники прямого и инверсного сигналов располагаются на разных (соседних!!!) слоях платы. Однако, такой способ может вызвать проблемы с постоянством импеданса. На рисунке

4 приведены оба эти варианта, а также некоторые критические размеры, такие как ширина (W), расстояние между краями (S), толщина проводников (T) и дистанция между проводником и полигоном (H). Эти параметры, устанавливающие геометрию поперечного сечения дифференциальной пары, часто используются (наряду со свойствами материала проводников и диэлектрика подложки) для определения значений импедансов (для нерегулярного, равновесного, синфазного и противофазного режимов) и для вычисления величины связи между проводниками пары.



**Рис. 4.** Геометрические размеры сечения дифференциальной пары

Когда интервал между двумя трассами относительно велик (связь между проводником и полигоном превышает взаимосвязь между проводниками), то пара становится слабосвязанной. И, наоборот, когда две трассы расположены достаточно близко друг от друга (взаимосвязь между ними больше связи между отдельным проводником и полигоном), то это означает, что проводники пары сильно связаны. Сильная связь обычно не является необходимой для достижения начальных преимуществ дифференциальной структуры. Тем не менее, для достижения хорошей помехозащищенности сильная связь желательна для комплементарно передающихся, хорошо сбалансированных сигналов, обладающих симметричным импедансом относительно опорного напряжения.